

# 天津浮式LNG工程全容式LNG储罐总布置设计

李广鑫 海洋石油工程股份有限公司

**摘要:** 全容式LNG储罐是LNG接收站的核心,储罐总图布置对储罐设计施工及安全运营起到关键作用。对全容式LNG储罐系统主工艺及储罐上下游工艺流程进行了分析研究,确定储罐各系统、各设备功能要求。针对各个系统的功能及储罐内部结构,结合标准要求,同时考虑主要工艺管道布置及储罐整体施工工艺,进行储罐罐顶设备布置,以及罐顶平台设计。该设计方案在天津浮式LNG项目得到成功应用,并经过第三方日本IHI公司平行设计审查批准。通过挪威船级社(中国)有限公司对PSV安全阀泄放以及储罐BOG放空等设备布置进行的量化风险评估(QRA),储罐总图设计方案满足设计要求。该全容式LNG储罐总图设计思路及方法,为LNG储罐设计提供了参考指导作用。

**关键词:** 液化天然气;全容式LNG储罐;总图布置;设计

doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2015.7.014

LNG(液化天然气)储罐在LNG接收站中用于存储液化天然气,是接收站的核心<sup>[1-3]</sup>。LNG储罐按结构型式分为单容罐、双容罐及全容罐。全容罐具有较高的安全性,储罐采用双层壁结构,在第一层罐体泄漏时,第二层罐体可对泄漏液体与蒸发气实现完全封拦,且不需设置围堰,是国内、国际上LNG接收站存储系统常用的储罐结构型式<sup>[4-8]</sup>。

## 1 储罐总图设计方案分析

### 1.1 行业标准

自从我国于2006年在深圳大鹏建成我国第一座LNG接收站以来,LNG行业标准的制定工作严重滞后,我国正在应用的LNG工程建设相关标准规范大多引用国外标准规范有关内容。如国标《液化天然气(LNG)生产、储存和运装(GB/T 20368)》等同NFPA 59A—2009相关内容,国标《液化天然气设备与安装 陆上装置(GB/T 22724)》等同欧标BS EN 1473相关内容。

全容式LNG储罐,设计压力约为30 kPa左右,储罐本体设计应满足《Design and Construction of Large, Welded, Low Pressure Storage Tanks (API 620)》,《Design and Manufacture of Site Built, Vertical, Cylindrical, Flat Bottomed Steel Tanks for the Storage of Refrigerated, Liquefied Gases with Operating Temperatures Between 0 °C and -165 °C (EN 14620)》标准;储罐总图设计应满足《Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG) (NFPA 59A—2009)》标准要求,或欧标《Installation and Equipment for Liquefied Natural Gas Design of

Onshore Installations (BS EN 1473)》,以及《石油天然气工程设计防火规范(GB 50183—2004)》《建筑设计防火新规范(GB 50016)》《工业企业总平面设计规范(GB 50187)》要求。

### 1.2 储罐罐区布置

#### 1.2.1 环境因素

产生高温及有害气体、烟、雾、粉尘的生产设施,应布置在厂区全年最小频率风向的上风侧且地势开阔、通风条件良好的地段。罐区内储罐成组或成排布置,储罐产生可燃有害气体,应根据主频风向,首先确定整个罐区的选址,再考虑单个储罐的布置。储罐区属于甲类危险区,位置应满足以上规定,且宜布置在码头一侧。

#### 1.2.2 罐区道路布置

(1) 罐区消防通道的布置。在液化烃、可燃液体、可燃气体的罐区内,任何储罐中心至消防车道的距离应符合现行国家标准《石油天然气工程设计防火规范(GB 50183—2004)》的有关规定,供消防车通行单车道路面内缘转弯半径不应小于12 m,道路宜呈环状布置。

(2) 罐区人行道的布置。人行道宽度不宜小于1.0 m,沿主干道布置时不宜小于1.5 m。储罐间距应不小于相邻储罐直径和的四分之一<sup>[9-11]</sup>。

#### 1.2.3 罐区储罐布置

储罐宜进行标准化设计,减少设计、施工工作量及偏差,有利于提高工作效率、降低风险、缩短工期,节约人力及资源成本。因此,站场内罐区位置确定后,储罐宜根据罐区内主管廊对称或平行布



置,如图1所示的罐区布置图,为储罐对称布置。

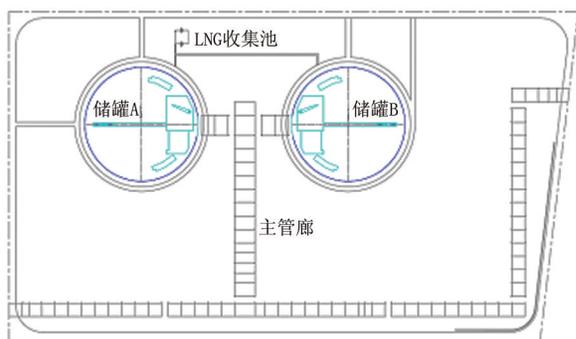


图1 罐区布置示意图

### 1.3 储罐总图布置方案

罐顶设备宜分区集中布置,主工艺设备尽量靠近负荷中心,并方便主要管道的布置。仪表监控设备宜分片均布于主工艺区两侧,防止测量误差。压力安全阀泄放系统属危险源排放,应尽量远离主工艺区或与主工艺区径向对称布置。因真空与超压工况不会同时出现,真空安全阀可与压力安全阀靠近布置。

综上所述,根据储罐上、下游工艺流程,可确定罐区内主管廊,根据罐区内主管廊,可确定储罐罐顶主工艺区,并进一步确定仪表监控设备区及氮气吹扫区,进行压力及真空泄放区布置。

## 2 储罐总图布置影响因素分析

### 2.1 储罐主工艺系统及设备

储罐主要工艺系统及设备包括顶进料管线、底进料管线、BOG(蒸发气)管线、泵外输管线、安全阀泄放系统、真空安全阀系统、储罐罐表控制系统(液位控制、温度控制、压力控制、高低液位报警、内罐泄漏监控、紧急关断等)、预冷系统、储罐内吹扫、惰性气体置换系统、吊机系统等。典型储罐工艺示意图如图2所示。

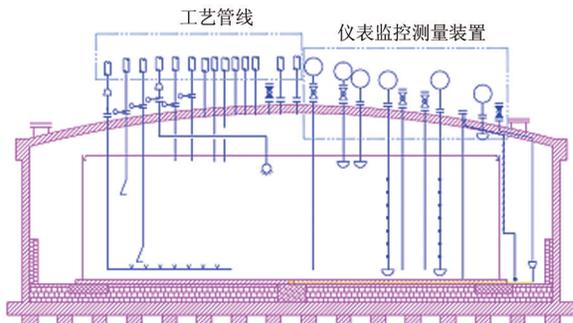


图2 典型储罐工艺示意图

由于储罐存储介质主要为液态,储罐主要承受液体的静压力,储罐罐壁受力由上往下逐渐增大。所以,为了避免发生储罐泄漏等事故,所有工艺管线都布置在储罐罐顶。

(1) 储罐内吹扫及惰性气体置换系统。吹扫及氮气置换设备,宜在储罐圆周均匀布置。

(2) 吊机系统。应满足储罐每台外输泵的维修吊装要求,每台泵的泵井宜布置在储罐圆心的同一圆弧上。

(3) 其他辅助系统。罐顶雨水排放系统,罐顶雨水应收集并引入厂区雨水排水系统;罐顶泄漏收集系统,用于收集储罐罐顶泄漏的LNG液体,将其排入厂区地面LNG收集池,应防止LNG流入下水道、排水沟、水渠或任何有盖板的沟渠中。

### 2.2 储罐上下游主工艺

LNG运输船到达接收站LNG专用码头后,LNG由运输船上的输送泵加压,经卸料臂汇集到LNG总管并输送至陆上LNG储罐;陆上储罐内的LNG通过低压输送泵输出,一部分输送至槽车装车系统以用于液态外输,另一部分输送至再冷凝器,与加压后的BOG接触并将之再冷凝后,进入高压泵升压;升压后的高压LNG在气化器中气化后输送至首站,接至天然气外输管网,进入城市管网。从上下游主工艺分析中,可以确定储罐与接收站接口管道及管廊设计。

### 2.3 储罐内部结构

(1) 内部管道支撑要求对管嘴布置的影响。储罐外每一条工艺管线,最终都需接入储罐罐顶各个管嘴,进而与储罐内部相连。所以,对于储罐内部,需要根据功能要求对各个管嘴进行合理布置。储罐管嘴的布置,要考虑到进入储罐内部的管道或管道护管的支撑要求。不能距离储罐罐壁太远,否则难以实现内部支撑结构;同时,应考虑正常运行及地震偶然载荷工况下,泵护管及支撑整体结构振动在可接受范围内。

(2) 罐顶穹顶环梁及椽子等结构对管嘴布置的影响。罐嘴进入储罐的内部管道及护管,应避免与穹顶环梁及椽子、储罐吊顶板周向布置的吊杆及储罐内甲板周向加强圈构成的多层环网碰撞;罐嘴在储罐外部应避免罐顶平台结构梁。管嘴需与内外部结构协调设计,合理布局,尽量减少碰撞,且满足结构强度、配管及工艺等技术要求。

### 2.4 超低温管道布置

液化天然气介质管道为超低温管道( $-165^{\circ}\text{C}$ ),管道内部介质温度与管道外部环境温差高达 $200^{\circ}\text{C}$ 。巨大温差对管道布置有特殊要求,在总图布置空间时需考虑这一点。

如PSV(压力安全阀)立管管道布置,为CAESARII管道应力分析软件计算结果,如图3所



示。如果是常规管道按此方案布置满足应力要求；但若为低温LNG管线，则应力比高达157.02%，管线应力严重超标。需要将PSV出口水平管线直管段加长，增加管道柔性，管道布置空间需求加大。

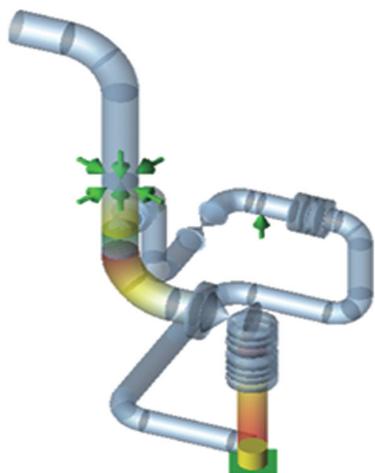


图3 PSV立管管道布置

### 2.5 罐顶平台的布置要求

罐顶平台应服务于管道系统，并满足设备操作维修要求；同时，应满足特殊设备安全距离要求。其中，安全阀排放管口不得朝向邻近设备或有人通过的地方，排放管口应高出平台8 m以上或建筑物顶3.5 m以上。

### 2.6 施工工艺对总图布置的影响

储罐土建施工完毕后，储罐罐壁需设置两个门洞，供进出储罐内部施工；储罐施工需在储罐圆周方向均布两个塔吊；同时，储罐罐壁在圆周方向均布四处扶壁柱，作为对储罐预埋的横向钢筋预紧的操作空间。因此，储罐罐壁立管管廊、储罐斜梯及储罐直爬梯等布置均需避免与罐壁门洞及扶壁柱冲突。

## 3 储罐总图设计方案

根据标准，结合上述各影响因素，以及超低温管道柔性设计要求，完成储罐管嘴布置及主要管道设计，进而完成储罐罐顶总图设计方案，见图4。

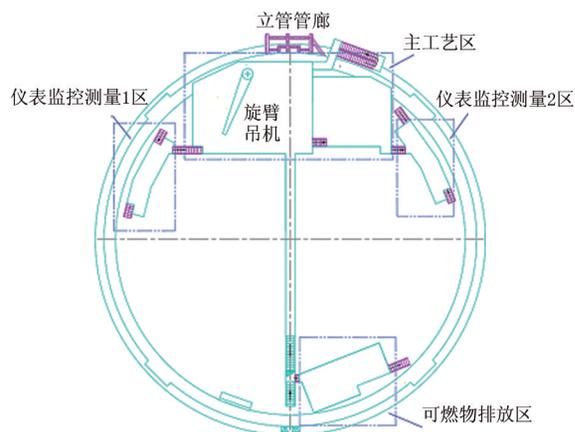


图4 罐顶总图布置

## 4 结语

以全容式LNG储罐为研究对象，在分析LNG储罐系统主工艺及储罐上下游工艺流程基础上，针对各个系统的功能及储罐内部结构，结合标准要求，同时考虑主要工艺管道布置及储罐整体施工工艺，进行储罐总图设计。

该设计方案在天津浮式LNG项目得到成功应用，并经过第三方日本IHI公司平行设计审查批准。通过挪威船级社（中国）有限公司对PSV安全阀泄放以及储罐BOG放空等设备布置进行的量化风险评估（QRA），储罐总图设计方案满足设计要求。该全容式LNG储罐总图设计思路及方法，为LNG储罐设计提供了参考指导作用。

### 参考文献

- [1] 初燕群, 陈文煜, 牛军锋, 等. 液化天然气接收站应用技术[J]. 天然气工业, 2007, 27 (1): 1-4.
  - [2] 杨炎辉, 程静. LNG接收站总平面设计研究[J]. 化工设计, 2011, 12 (2): 38-45.
  - [3] 黄群, 夏芳. LNG储罐国产化的可行性[J]. 天然气工业, 2010, 30 (7): 80-82.
  - [4] 李润海, 徐嘉爽, 李兆慈. 全容式LNG储罐罐体温度场计算及分析[J]. 油气储运, 2012, 30 (4): 15-19.
  - [5] 赵德廷. 广东大鹏LNG接收终端总体设计及主要系统工艺优化[J]. 中国海上油气, 2007, 19 (3): 208-213.
  - [6] 付子航, 宋坤. 大型LNG储罐的完整性管理与解构[J]. 油气储运, 2012, 30 (7): 481-485.
  - [7] 王冰, 陈学东, 王国平. 大型低温LNG储罐设计与建造技术的新进展[J]. 天然气工业, 2010, 30 (5): 481-485.
  - [8] 江涛. 浮式LNG接收终端(FSRU)靠泊方案及码头设计研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2012.
  - [9] NFPA. Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG): NFPA 59A—2009[S]. 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02169-7471: An International Codes and Standards Organization, 2009: 13.
  - [10] 杨志毅, 赵保才, 高爱华, 等. 液化天然气(LNG)生产、储存和运装: GB/T 20368—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 11.
  - [11] 云成生, 韩景宽, 章申远, 等. 石油天然气工程设计防火规范: GB 50183—2004[S]. 北京: 中国计划出版社, 2004: 66.
- [作者简介] 李广鑫: 工程师, 硕士, 主要从事油气田总图与管道设计工作。

15022615639、Ligx@mail.cooec.com.cn

收稿日期 2015-03-05

(栏目主持 张秀丽)

